Pflanzenphysiologische Beiträge zur Beurteilung der biologischen, bzw. balneologischen Bedeutung des Schwefelwasserstoffes im Badewasser bei einer Badekur in Baden bei Wien

Von

Walter Kosmath, Laa an der Thaya, und Volkmar Hartmair, Klagenfurt

(Mit 5 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 21. Oktober 1937)

I. Einleitung.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, zunächst experimentell zu entscheiden, ob die Schwefelwasserstoffkonzentrationen und -dosen, die im Badewasser bei einer Badekur in Baden bei Wien auftreten, die Minimalwerte, bei denen biologische Effekte beginnen, übertreffen. Diese Untersuchungen werden im Sinne der Arbeit »Pflanzenphysiologische Beiträge zur Beurteilung der biologischen, bzw. balneologischen Bedeutung der Radioaktivität der Kur von Badgastein« durchgeführt, deren Grundgedanken sich auf die Schwefelwasserstofffrage in den Kurorten mit Schwefelwasserstoffquellen übertragen lassen. Bei diesen Thermalwasserversuchen mit pflanzlichen Objekten werden daher Versuchsdosen verwendet, die der Größenordnung nach mit den Wasser-H_2S-Dosen, denen ein Kurgast während einer Thermalbäderkur in Baden bei Wien exponiert ist, übereinstimmen.

Die Wasser-H_2S-Konzentration k des Badner Thermalwassers beträgt $9 \cdot 0 . 10^{-6}$ g H_2S pro Kubikzentimeter. Die Wasser-H_2S-Dosis d eines halbstündigen Thermalbades (von T Stunden) in Baden bei Wien beträgt nach der Definitionsgleichung

$$d = \int_0^T k\,dt$$

$4 \cdot 5 . 10^{-6}$ g/cm^3 Stunden und die Wasser-H_2S-Dosis einer Badekur mit 20 halbstündigen Bädern $90 . 10^{-6}$ g/cm^3 Stunden. Diesen Werten stehen die Werte der Versuchsdosen mit Badner Thermalwasser von 63, 216, 36, 72 und $63 . 10^{-6}$ g/cm Stunden gegenüber.

Die vorliegenden Wasser-H_2S-Versuche mit Badner Thermalwasser wurden im Mai 1937 in der Villa, Franzensring 11, in Baden bei Wien durchgeführt. Bei diesen Versuchen war es wichtig, so zu

arbeiten, daß die Möglichkeit einer Beeinflussung der Versuchsergebnisse durch den Schwefelwasserstoff, der im Luftmilieu von Baden in der Luft der Kurhäuser mit Thermalbädern usw. vorhanden ist, ausgeschaltet ist. In der Luft der genannten Villa konnten Schwefelwasserstoffspuren nicht wahrgenommen werden.

II. Wasser-H_2S-Versuche mit Badner Thermalwasser.

Die für die vorliegenden Thermalwasserversuche erforderlichen Thermalwasserproben wurden jeweils aus einer frisch gefüllten Badewanne im Johannesbad entnommen, das mit Thermalwasser aus der Marienquelle gespeist wird.

1. Quellungsversuche mit Lepidium sativum und Helianthus annuus.

Methode:

Für jeden Quellungsversuch waren zwei Thermalwasserproben nötig. Eine von diesen wurde in einer Drechsel-Waschflasche mit Hähnen aufgefangen und darin mittels einer Wasserstrahlluftpumpe unter ständigem kräftigem Schütteln der Schwefelwasserstoff so weit als möglich ausgetrieben. Selbst nach längerem Austreiben (eine Stunde und darüber) waren noch immer Spuren von Schwefelwasserstoff in dieser Wasserprobe vorhanden. Daher darf der im folgenden verwendete Ausdruck »H_2S-frei« nicht absolut genommen werden. Die Entnahme der zweiten Thermalwasserprobe ging so vor sich, daß ein Entweichen von Schwefelwasserstoff aus der Probe nicht möglich war.

Es wurde mit drei kongruenten Quellungsgefäßen gearbeitet, die jenen gleichartig waren, die seinerzeit in Badgastein verwendet wurden, und in denen die Quellung der Samenproben im natürlichen abgekühlten Badner Thermalwasser, im H_2S-freien Thermalwasser und im Badner Leitungswasser bei 17° C. ebenso wie in Badgastein durchgeführt wurden. Die Quellungsdauer für *Lepidium sativum* betrug 7 Stunden und für *Helianthus annuus* 24 Stunden. Die drei gequollenen Samenproben wurden dann in drei kongruente je 3 *l* fassende gläserne Keimungsräume zur Keimung ausgelegt, und sich im Dunklen entwickeln gelassen. Diese Keimungsräume sind auf p. 113 der Arbeit »Pflanzenphysiologische Beiträge zur Beurteilung der biologischen, bzw. balneologischen Bedeutung der Radioaktivität der Kur von Badgastein« beschrieben. Die Luft in den Keimungsräumen wurde alle 12 Stunden erneuert.

Der Quellungsversuch mit *Lepidium sativum* wurde mit je 80 Samen in einer Samenprobe sechsmal wiederholt. Nach 5tägiger Keimung wurden die Längen der Wurzeln und der oberirdischen Teile gemessen. Bei den Quellungsversuchen mit *Helianthus annuus* wurden je 30 Samen in einer Samenprobe verwendet, die Samen 4 Tage keimen gelassen und dieser Versuch viermal wiederholt.

Ergebnis:

Tabelle 1.

Quellungsversuch mit *Lepidium sativum* (Gartenkresse).

Quellungszeit: 7 Stunden. Versuchstemperatur: 17 bis 18° C.

Versuchsdauer: 5 Tage.

Versuch	Natürl. Thermalwasser		H_2S-freies Thermalwasser		Leitungswasser	
	Länge der oberird. Teile in *mm*	Länge der Wurzeln in *mm*	Länge der oberird. Teile in *mm*	Länge der Wurzeln in *mm*	Länge der oberird. Teile in *mm*	Länge der Wurzeln in *mm*
1.	4·1±0·4	5·5±0·5	5·7±0·6	7·4±0·7	4·1±0·4	4·9±0·5
2.	9·2±0·9	10·1±1·0	9·8±0·9	10·3±1·0	7·7±0·7	8·7±0·8
3.	8·3±0·8	10·1±1·0	8·8±0·8	11·4±1·1	8·0±0·8	9·1±0·9
4.	7·6±0·7	12·2±1·1	9·3±0·9	13·3±1·2	7·0±0·7	10·3±1·0
5.	7·4±0·7	10·0±1·0	8·8±0·8	11·0±1·0	6·7±0·6	9·0±0·9
6.	7·6±0·7	9·8±0·9	9·0±0·9	11·0±1·0	7·0±0·7	8·0±0·8
Gesamtmittel..	7·4±0·5	9·6±0·4	8·6±0·4	10·7±0·5	6·8±0·6	8·3±0·4

Tabelle 2.

Quellungsversuch mit *Helianthus annuus* (Sonnenrose).

Quellungszeit: 24 Stunden. Versuchstemperatur: 17 bis 18° C.

Versuchsdauer: 4 Tage.

Versuch	Natürl. Thermalwasser		H_2S-freies Thermalwasser		Leitungswasser	
	Länge der oberird. Teile in *mm*	Länge der Wurzeln in *mm*	Länge der oberird. Teile in *mm*	Länge der Wurzeln in *mm*	Länge der oberird. Teile in *mm*	Länge der Wurzeln in *mm*
1.	9·6±0·9	22·2±2·1	8·6±0·8	24·2±2·3	8·9±0·9	23·5±2·2
2.	8·4±0·8	19·3±1·8	9·2±0·9	22·6±2·2	8·9±0·9	22·4±2·1
3.	9·0±0·9	22·0±2·1	9·5±0·9	22·3±2·1	10·1±1·0	23·4±2·2
4.	9·1±0·9	21·0±2·1	9·1±0·1	21·4±2·0	9·4±0·9	22·0±2·1
Gesamtmittel..	9·0±0·4	21·1±1·0	9·1±0·3	22·6±1·0	9·3±0·4	22·8±1·2

Tabelle 1 und 2 zeigen, daß die Samenentwicklung von *Lepidium sativum* und *Helianthus annuus* nach vorhergehender Quellung im natürlichen abgekühlten Badner Thermalwasser, im H_2S-freien Thermalwasser und im Badner Leitungswasser bei einer Temperatur von 17° bis 18° C. gleich verläuft.

2. Krümmungsversuch mit einseitig verletzten Hypokotylen von *Helianthus annuus*.

Methode:

Als Versuchsobjekt dienten Keimpflanzen von *Helianthus annuus*. 4 *cm* lange, gleichdicke, gerade und nicht etiolierte Keimlinge wurden mit einem scharfen Rasiermesser von der Wurzel abgetrennt und hierauf mittels einer Pinzette auf einer der beiden Kotyledonarseiten ein zirka 1 *mm* breiter Epidermisstreifen von der basalen Schnittfläche bis unter die Kotyledonen hinauf abgezogen. Für jeden Versuch wurden drei solche einseitig verletzte Hypokotyle verwendet. Von drei kongruenten Glasküvetten (Volumen: 250 cm^3) enthielt die erste natürliches Thermalwasser, die zweite H_2S-freies

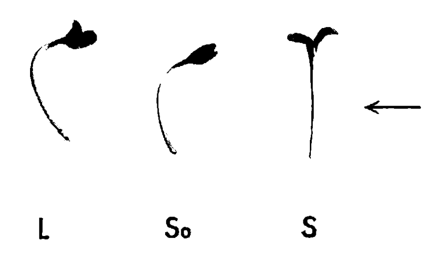


Fig. 1. Krümmungsversuch mit *Helianthus annuus*.

L → Leitungswasser.
S_0 → H_2S-freies Badner Thermalwasser.
S → natürliches Badner Thermalwasser.

Thermalwasser und die dritte Leitungswasser. Die Wassertemperatur wurde mittels eines Wasserbades in allen drei Küvetten auf 23° C. gehalten. Von den drei vorhin erwähnten verletzten Hypokotylen wurde das erste in die Küvette mit natürlichem Thermalwasser, das zweite in die Küvette mit H_2S-freiem Thermalwasser und das dritte in die Küvette mit Leitungswasser eingebracht und darin in vertikaler Lage fixiert. Jeder Versuch dauerte 4 Stunden. Nach Beendigung desselben wurde von jedem Hypokotyl eine Zeichnung auf Millimeterpapier angefertigt. Dieser Versuch wurde sechsmal wiederholt.

Ergebnis:

Das Verhalten einseitig verletzter Hypokotyle von *Helianthus annuus* in natürlichem Badner Thermalwasser ist verschieden von dem in H_2S-freiem Thermalwasser, bzw. Leitungswasser. Im natürlichen Thermalwasser krümmen sich die Hypokotyle von der Längswunde weg (Säurekrümmung), im H_2S-freien Thermalwasser und

Leitungswasser zur Wunde hin (positiv traumatotrope Krümmung). Alle sechs Versuche brachten dasselbe in der Fig. 1 festgehaltene Resultat.

Die Erklärung für dieses verschiedene Verhalten einseitig verletzter Hypokotyle ist folgende: Im Leitungswasser, bzw. H_2S-freien Thermalwasser, die beide annähernd neutral reagieren, erfolgt durch einen einseitigen Wundreiz eine Hemmung des Wachstums an der verwundeten Flanke, so daß eine positiv traumatotrope Reaktion eintritt. Im natürlichen Badner Thermalwasser, das durch das darin gelöste H_2S schwach sauer reagiert, werden durch das eindringende Medium die auf der Wundseite des Hypokotyls gelegenen Zellen in ihrem Streckungswachstum gefördert, was zu einer Krümmung von der Wunde weg führen muß.

3. Versuch mit Chara fragilis.

Wegen des mit verletzten Hypokotylen von *Helianthus annuus* erzielten Ergebnisses schien es von Interesse festzustellen, ob im natürlichen, bzw. H_2S-freien Badner Thermalwasser die Geschwindigkeit der Cytoplasmaströmung in den Rhizoiden von *Chara fragilis* eine Änderung erfährt.

Methode:

Die Methode dieser Versuche ist analog der Methode, die in Badgastein verwendet wurde.

Ergebnis:

Versuch 1. Tabelle 3.

Messung der Strömungsgeschwindigkeit des Cytoplasmas an Rhizoiden von *Chara fragilis.*

Versuchsdauer: 8 Stunden. Versuchstemperatur: 19° C.

Strömungsgeschwindigkeit in relativen Einheiten.

Tageszeit, auf die sich die Messungen beziehen	Natürliches Thermalwasser	H_2S-freies Thermalwasser	Leitungswasser
10—11	7·4±0·6	15·3±1·2	8·1±0·7
11—12	7·1±0·6	14·8±1·3	8·6±0·8
12—13	8·4±0·7	8·5±0·8	10·0±0·9
14—15	8·9±0·8	11·3±1·0	9·2±0·8
15—16	8·6±0·8	9·4±0·8	9·3±0·8
16—17	7·2±0·7	12·0±1·1	11·3±1·0
17—18	8·5±0·8	12·0±1·1	9·8±0·9
Mittelwerte..	8·0±0·5	11·9±0·6	9·5±0·5

Versuch 2. Tabelle 4.

Tageszeit, auf die sich die Messungen beziehen	Natürliches Thermalwasser	H_2S-freies Thermalwasser	Leitungswasser
10—11	7·9±0·8	12·2±1·1	8·3±0·7
11—12	6·7±0·6	10·2±0·9	9·6±0·9
12—13	7·9±0·8	10·4±0·9	8·0±0·7
14—15	6·6±0·6	10·4±0·9	9·5±0·9
15—16	10·3±0·9	11·3±1·0	6·3±0·6
16—17	10·5±1·0	6·6±0·6	10·8±1·0
17—18	9·6±0·9	8·7±0·8	7·5±0·7
Mittelwerte..	8·5±0·4	10·0±0·5	8·6±0·4
Gesamtmittel aus Versuch 1 u. 2..	8·3±0·4	11·0±0·5	9·1±0·5

Nach den Tabellen 3 und 4 scheint die Strömmung des Cytoplasmas in den *Chara*-Rhizoiden im H_2S-freien Badner Thermalwasser etwas rascher zu sein als im natürlichen Badner Thermalwasser und im Badner Leitungswasser bei einer Versuchstemperatur von 19° C.

4. Der Badeversuch mit Vicia faba equina.

Dieser Versuch sollte zeigen, ob die Wurzeln von *Vicia faba*-Keimlingen innerhalb 7 Tagen durch ein tägliches einstündiges »Bad im natürlichen abgekühlten Badner Thermalwasser, bzw. H_2S-freien Thermalwasser in der Entwicklung beeinflußt werden.

Methode:

Vicia faba-Keimlinge werden unter Lichtabschluß in Keimungsräumen sich entwickeln gelassen, bis die Wurzeln eine durchschnittliche Länge von 2 *cm* erreichen. Zu diesem Zeitpunkt wird mit der Badebehandlung eingesetzt, wofür drei Portionen gleichwertiger Keimlinge bereitgestellt sind. Es wird mit drei gleichen, $1^1/_2$ *l* fassenden, mit schwarzem Tonpapier umwickelten Einsiedegläsern operiert. Das erste Einsiedeglas ist mit natürlichem abgekühltem Badner Thermalwasser, das zweite mit H_2S-freiem Thermalwasser und das dritte mit Badner Leitungswasser bis zum oberen Rand gefüllt. Auf jedes Einsiedeglas ist ein aus Glasstreifen hergestellter quadratischer Glasrost (Seitenlänge: 13 *cm*) aufgelegt, dessen Unterseite von dem im Einsiedeglas befindlichen Wasser benetzt wird. Infolge der dadurch erzielten bedeutenden Verminderung der freien Wasseroberfläche in den einzelnen Einsiedegläsern war die H_2S-Abgabe aus denselben an die umgebende Luft praktisch auf 0 reduziert und hiemit eine Einwirkung von Schwefelwasserstofi auf die oberirdischen Teile der durch die Glasroste getragenen Keimlinge nicht zu befürchten. Die Glasroste hatten in regelmäßigen Abständen kleine quadratische Löcher (2×2 *mm*), durch welche die Wurzeln der auf

den Glasrosten aufruhenden senkrecht orientierten Keimlinge in die entsprechenden Wässer hineinragten. Die Badebehandlung ging täglich von 20^h30 bis 21^h30 im Dunkeln bei offenen Fenstern vor sich und bestand darin, daß in der angegebenen Zeit die Keimlinge der

Figuren 2, 3 und 4.
Badeversuche mit *Vicia faba.* Versuche in Baden bei Wien.

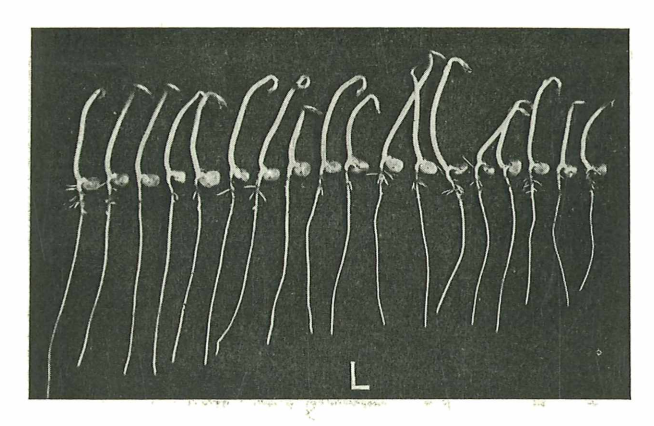


Fig. 2. *L* → Leitungswasser.

ersten Portion mit ihren Wurzeln in natürliches Thermalwasser, die der zweiten Portion in H_2S-freies Thermalwasser und die dritte Portion in Leitungswasser eintauchten. Die Wassertemperatur war

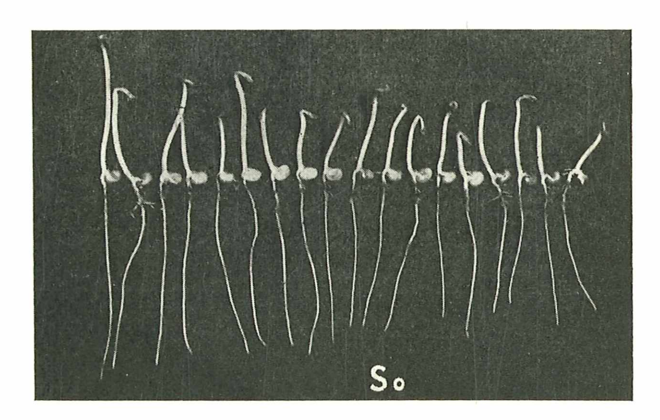


Fig. 3. S_0 → H_2S-freies Badner Thermalwasser.

in allen drei Gefäßen gleich und betrug bei den Versuchen in Baden bei Wien 18° C. Nach Beendigung der täglichen Behandlung wurden die Glasroste mit den Keimlingen von den Einsiedegläsern abgehoben und auf drei kongruente, bis zum oberen Rand mit gleichtemperiertem Leitungswasser gefüllte, je 3 *l* fassende Glaswannen

so aufgelegt, daß die Wurzeln der Keimlinge in das Leitungswasser eintauchten und so bis zur nächsten »Badebehandlung« belassen blieben. Die drei Glaswannen befanden sich in einer mit schwarzem Tonpapier überzogenen Kiste, so daß die Entwicklung der Keimlinge auch außerhalb der eigentlichen Behandlungszeit im Dunklen erfolgte. Die täglich einstündige »Badebehandlung« wurde durch 7 Tage fortgesetzt und hierauf die Länge der Wurzeln und der

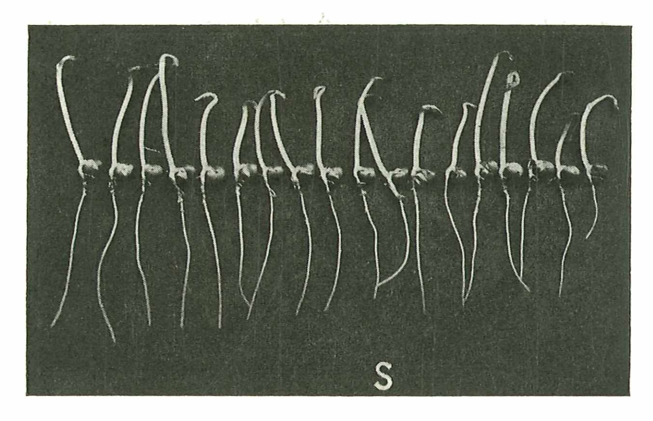


Fig. 4. *S* → natürliches Badner Thermalwasser.

oberirdischen Teile gemessen. Dieser Badeversuch wurde zweimal in Baden bei Wien wiederholt und im Juni 1937 viermal in Laa an der Thaya, also insgesamt sechsmal mit je 20 Samen in einer Portion.

Tabelle 5.

Badeversuch mit *Vicia faba*-Keimlingen.

Versuchstemperatur: Versuch 1 und 2: 18° C. Versuch 3 bis 6: 24° C.
Versuchsdauer: 7 Tage.

Versuch	Natürl. Thermalwasser		H_2S-freies Thermalwasser		Leitungswasser	
	Länge der oberird. Teile in *mm*	Länge der Hauptwurzeln in *mm*	Länge der oberird. Teile in *mm*	Länge der Hauptwurzeln in *mm*	Länge der oberird. Teile in *mm*	Länge der Hauptwurzeln in *mm*
1.	64 ± 6	106 ± 11	70 ± 7	124 ± 12	68 ± 7	112 ± 11
2.	66 ± 6	103 ± 10	64 ± 6	136 ± 13	71 ± 7	133 ± 12
3.	148 ± 14	123 ± 12	181 ± 18	144 ± 14	173 ± 17	145 ± 14
4.	176 ± 17	143 ± 14	193 ± 18	168 ± 16	177 ± 17	167 ± 16
5.	190 ± 18	146 ± 14	199 ± 19	166 ± 16	214 ± 21	160 ± 15
6.	175 ± 17	147 ± 14	191 ± 18	162 ± 16	206 ± 20	166 ± 16
Mittel..	136 ± 4	128 ± 5	149 ± 4	150 ± 4	151 ± 4	147 ± 3

Ergebnis.

Aus den Figuren 2, 3, 4 und 5 ist zu entnehmen, daß vor allem die Wurzeln der im natürlichen abgekühlten Badner Thermalwasser gebadeten *Vicia faba*-Keimlinge in ihrer Entwicklung gehemmt sind gegenüber den Wurzeln der im H_2S-freien Thermalwasser und Leitungswasser gebadeten Keimlinge. Dies zeigt auch Tabelle 5,

Die Versuche 1 und 2 der Tabelle 5 und die Fig. 2, 3, 4 beziehen sich auf die in Baden bei einer mittleren Temperatur von

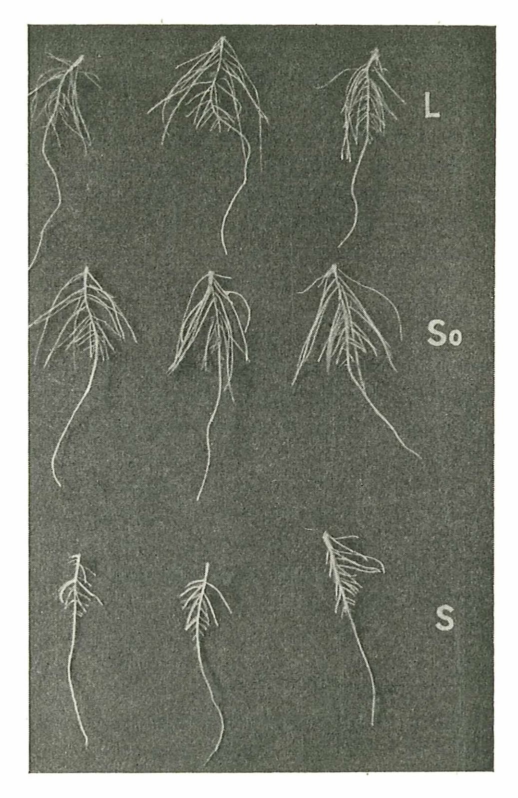


Fig. 5. Badeversuch mit *Vicia faba*. Reproduktionen in Laa a. d. Thaya.

$L \rightarrow$ Leitungswasser.
$S_0 \rightarrow H_2S$-freies Badner Thermalwasser.
$S \rightarrow$ natürliches Badner Thermalwasser.

18° C. durchgeführten Versuche, die anderen Versuche der Tabelle 5 und die Fig. 5 auf die Reproduktionen in Laa an der Thaya bei einer Versuchstemperatur von 24° C. Da die Entwicklung der Keimlinge in Laa wegen der höheren Temperatur rascher als in Baden vor sich ging, waren am Ende der Laaer Versuche bereits die Nebenwurzeln entwickelt. Dies ließ die Effekte besonders deutlich werden.

Zusammenfassung.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Versuche erkennt man, daß die Schwefelwasserstoffkonzentrationen und -dosen, die im Badewasser bei einer Thermalbadekur in Baden bei Wien auftreten, oberhalb der Minimalwerte liegen, bei welchen biologische Effekte beginnen.

Es wäre wichtig, die biologischen Versuche zur Beantwortung der Schwefelwasserstofffrage von Baden bei Wien fortzusetzen und auf eine breitere Basis zu stellen, damit in absehbarer Zeit in dieser Frage eine endgültige Entscheidung gefällt werden könnte. Vom bäderwissenschaftlichen Standpunkt aus wäre es auch wertvoll, daß man in den anderen Heilbädern mit Schwefelwasserstoffquellen ebenfalls beginnen würde, sich mit der Schwefelwasserstofffrage experimentell zu beschäftigen.

Die vorliegenden Untersuchungen in Baden bei Wien wurden von der Akademie der Wissenschaften in Wien durch eine Subvention aus der Sederl-Stiftung gefördert. Dafür danken die Verfasser auch an dieser Stelle der Akademie wärmstens.

Den Verfassern ist es auch eine angenehme Pflicht, dem hochverehrten Herrn Bürgermeister der Kurstadt Baden bei Wien Exzellenz Josef Kollmann und dem Herrn Landessanitätsrat Medizinalrat Dr. Otto Meyer für die verständnisvolle Förderung und auch dem Herrn Direktor Studienrat Bruno Friedel in Laa an der Thaya wärmstens zu danken.

Literatur.

Siegfried Strugger, Beiträge zur Physiologie des Wachstums. Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. 79, Heft 3, 1934.

Walter Kosmath, Volkmar Hartmair und Otto Gerke, Pflanzenphysiologische Beiträge zur Beurteilung der biologischen, bzw. balneologischen Bedeutung der Radioaktivität der Kur von Badgastein. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, Abt. I, Bd. 145, p. 101, 1936.
